



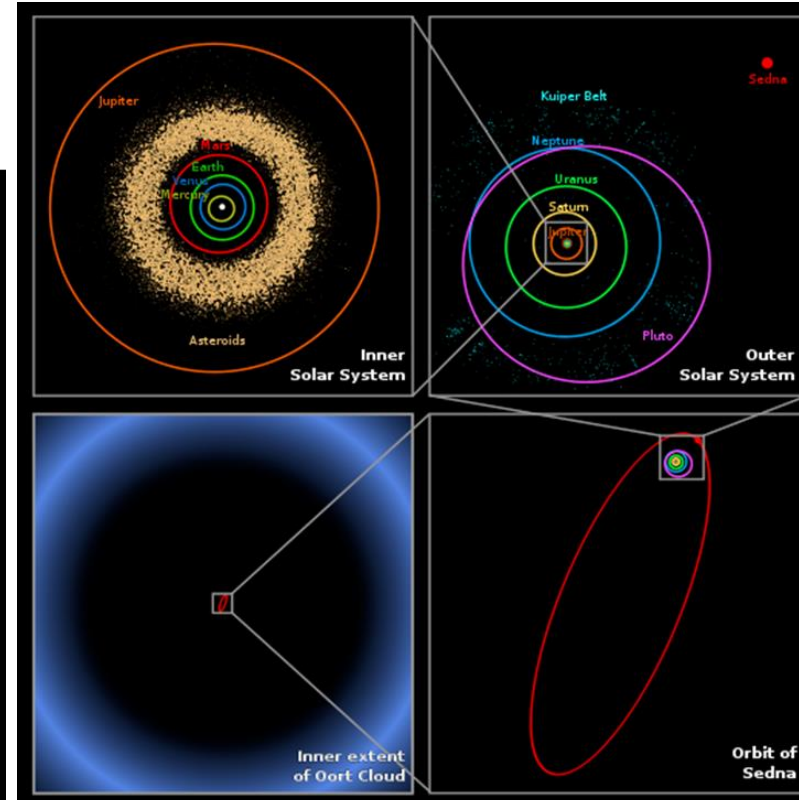
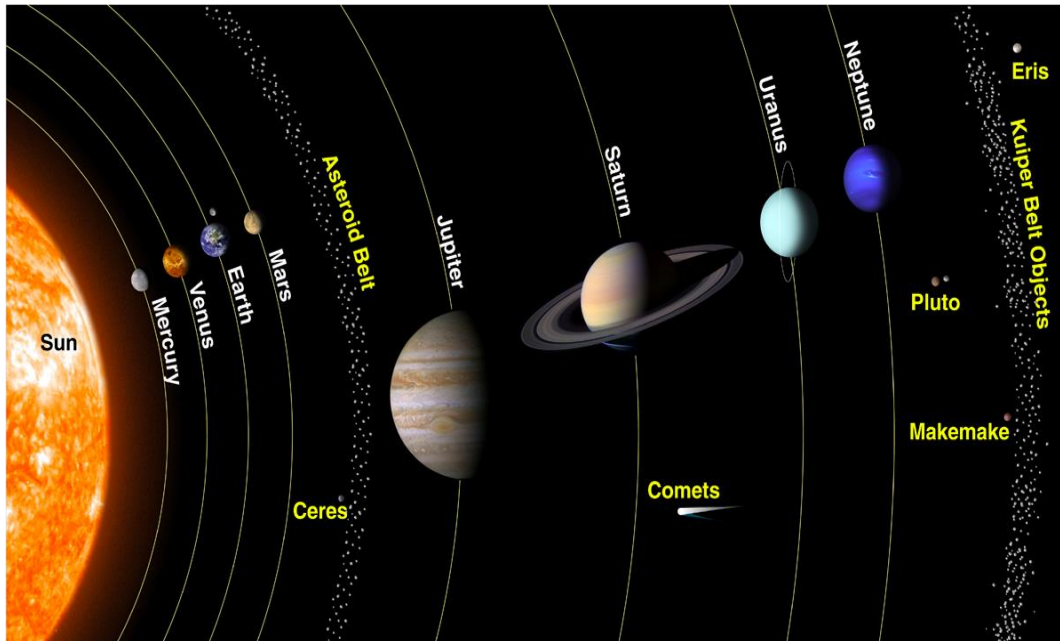
Universum nu

4. Solsystemet I

Universum nu, 2.2 2024, TH & KK



4. Solsystemet



Bilder: NASA

- Solen
- 8 (+ 1?) planeter
- ~ 9 dvärgplaneter
- Ca 300 kända månar
- Ca 1000 000 kända asteroider
- > 5000 kända kometer



4.1 Definition på planet

- *Internationella astronomiska unionen (IAU):*
 - *Rör sig i bana runt solen*
 - *Har tillräckligt stor massa för att tyngdkraften skall övervinna hållfastheten och ge den en rund form*
 - *Har genom sin gravitation tömt sin omgivning på andra stora kroppar*
- T.ex. Pluto, Eris och Ceres är för små för att dominera sin omgivning => dvärgplaneter.



Uppgift

Planet (AU)	Radie (km)	Avstånd (AU)	Densitet (kg/m ³)	Temperatur (°C)	Månar [1/2024]
Merkurius	2400	0,39	5430	-190/+400	0
Venus	6100	0,72	5240	+460	0
Jorden	6400	1,0	5510	-90/+50	1
Mars	3400	1,5	3930	-143/+35	2
Jupiter	71500	5,2	1330	-108 (1 bar)	95
Saturnus	60300	9,2	690	-139 (1 bar)	146
Uranus	25600	19	1270	-197 (1 bar)	27
Neptunus	24800	30	1640	-201 (1 bar)	14

Undersök tabellen med planeters egenskaper.
Vad är väntat och vad är överraskande?
Kan planeterna klassas in i olika grupper?



4.2 Planetjämförelse

Stenplaneter:

- Radie 2400 – 6400 km
- Avstånd från solen < 2 AU
- Struktur:
 - Metallkärna
 - Mantel av silikater
 - Fast yta
 - Tunn atmosfär
- Densitet ~ 4000 – 6000 kg/m³
- Få/inga månar

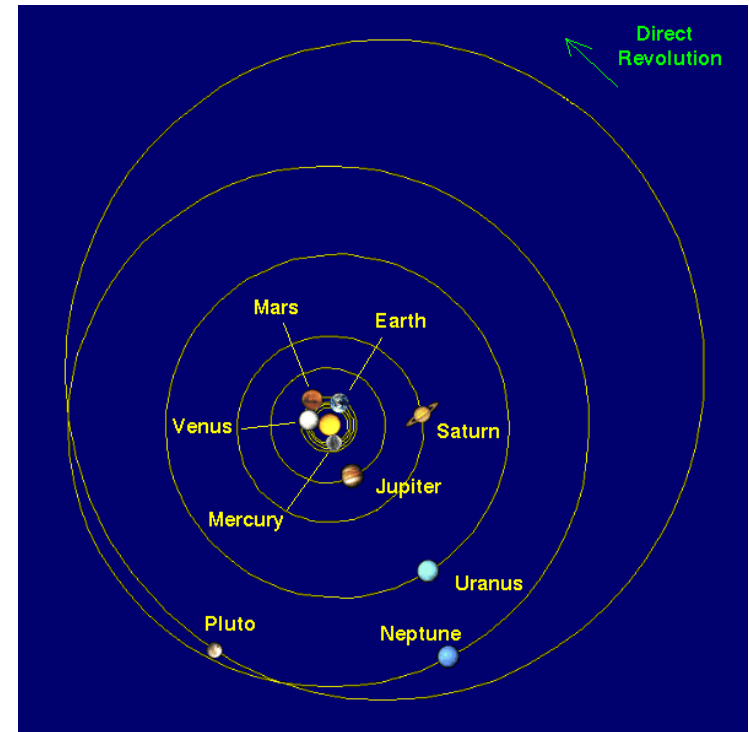
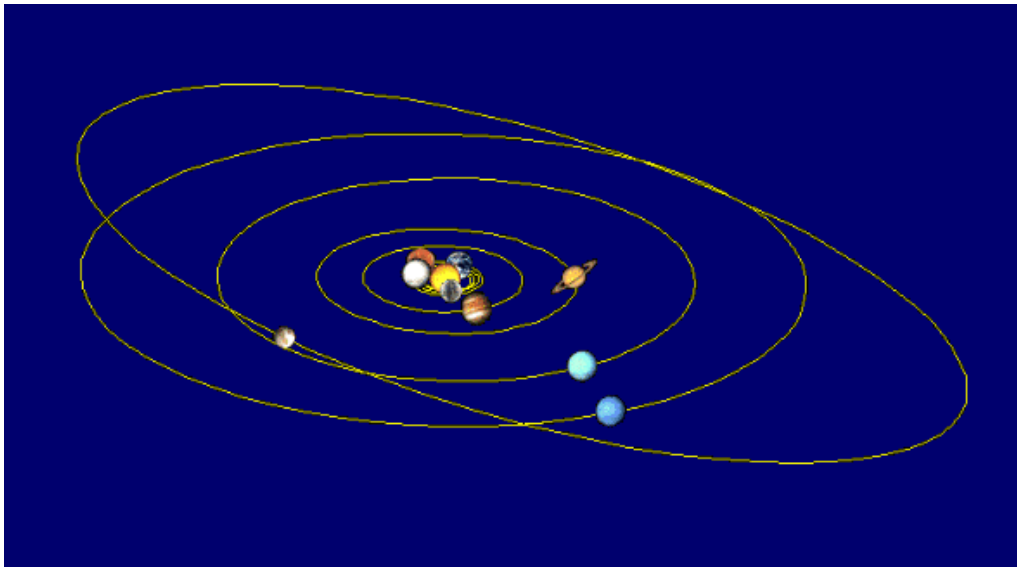
Jätteplaneter:

- Radie 25000 – 70000 km
- Avstånd från solen > 5 AU
- Struktur:
 - Ingen/liten kärna
 - Tjock atmosfär
 - Mest väte och helium
- Densitet 700 – 2000 kg/m³
- Många månar
- Ringar



4.3 Planeternas banor

- Alla planeter rör sig motsols och i nästan samma plan
 - Mercurius bana lutar ca 7 grader i förhållande till jordens
 - Dvärgplaneters och kometers banor i olika plan
 - Planeternas banor styrs av solens *gravitation* + små störningar från andra planeter



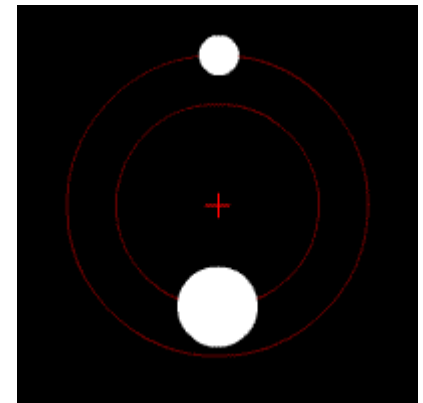


4.4 Gravitationen mellan två kroppar

- Planetbanorna följer approx. Newtons gravitationslag för två kroppar:

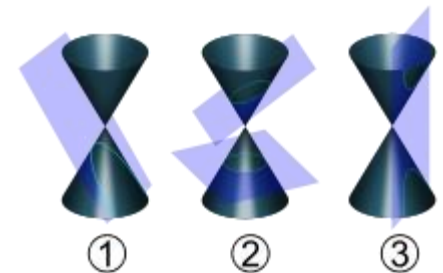
$$\mathbf{F}_g = -Gm_1m_2\frac{\mathbf{r}}{r^3}$$

G = gravitationskonstanten, m_1, m_2 = kropparnas massa, r = avståndet mellan kropparna, \mathbf{r} = avståndsvektorn.



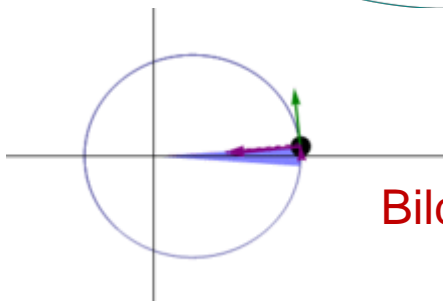
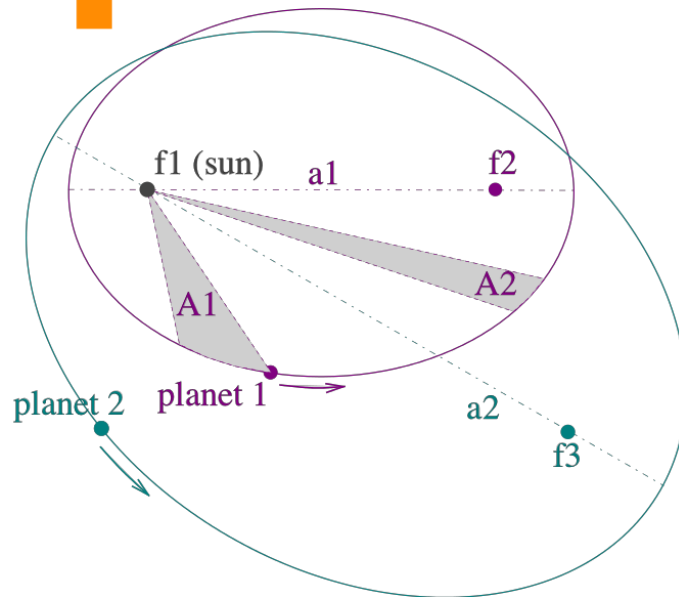
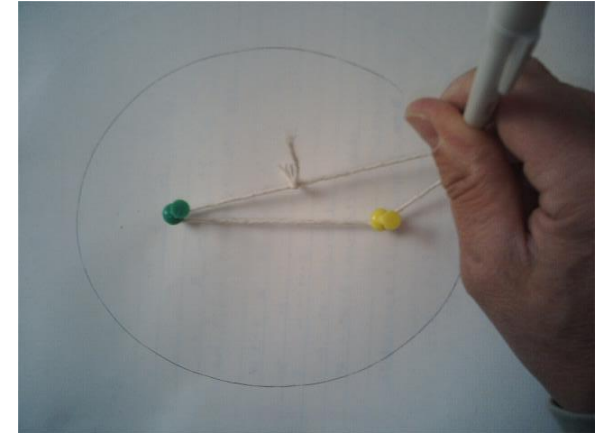
Bilder: Wikipedia

- Omloppsbanorna kring systemets massmedelpunkt
- Keplers lagar gäller
- Två kroppar => banor av typ koniska segment





4.5 Keplers lagar



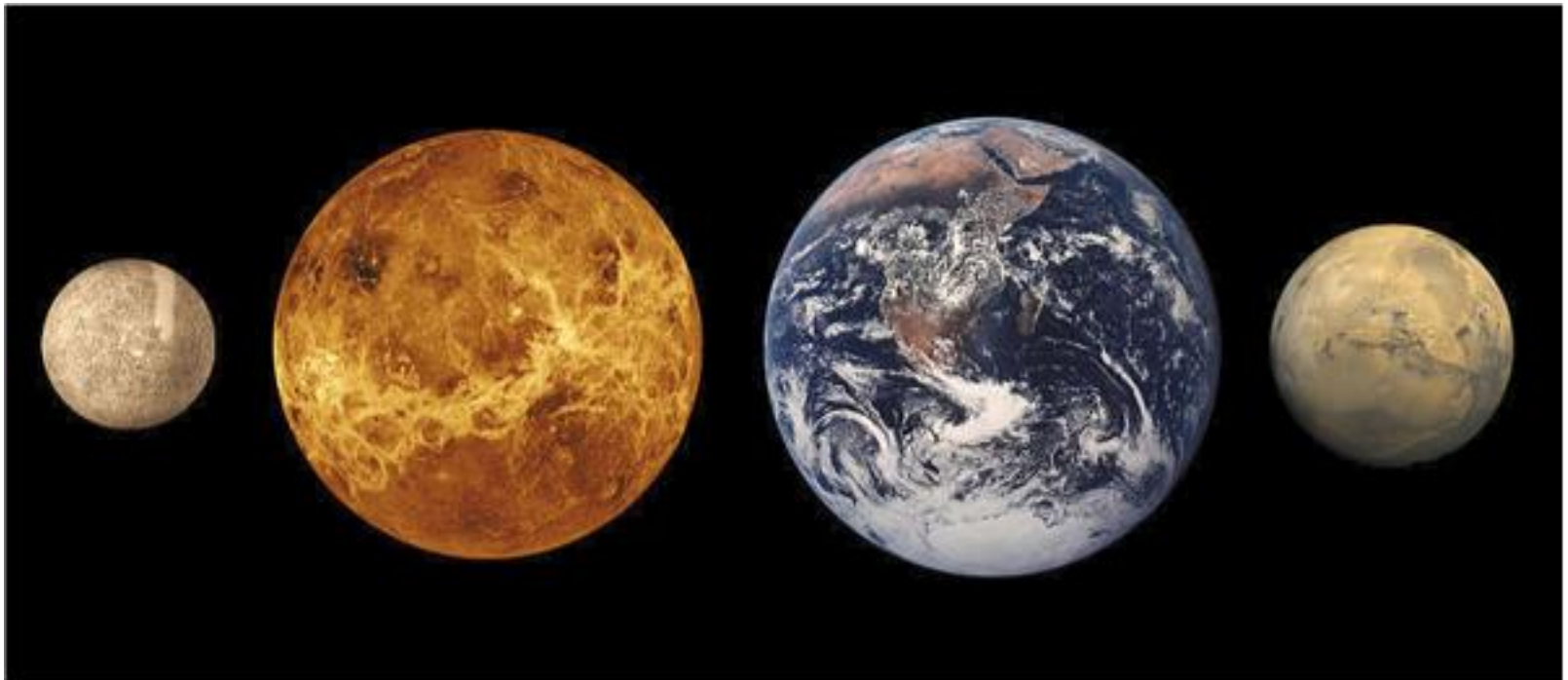
Bilder: Wikipedia

1. Planetbanorna är ellipser med massmedelpunkten i ena brännpunkten.
2. Radiusvektorn av en planet sveper på lika tid över lika stor yta.
3. Kvadraten på omloppstiderna är proportionella mot kuberna av planeternas avstånd från solsystemets massmedelpunkt:

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(m_1 + m_2)} a^3$$



4.6 Stenplaneterna

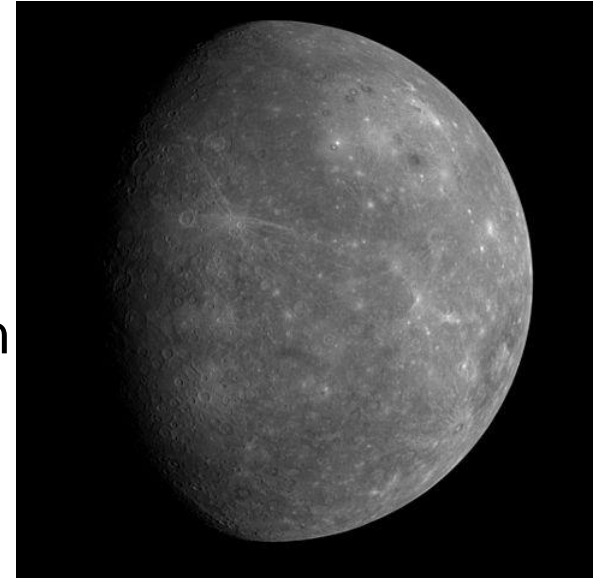


Merkurius, Venus, jorden (Tellus) och Mars i samma skala (NASA)

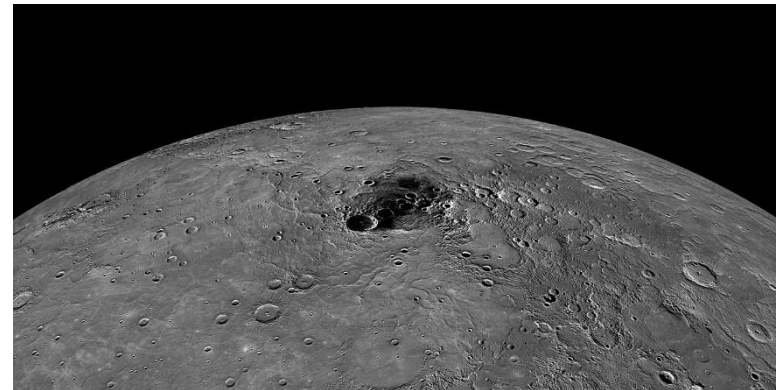


4.7 Merkurius

- . Avstånd från solen ~ 0,4 AU
 - . Alltid mycket nära solen på himlen
- . Diameter 4900 km (38 % av jordens), massa $3,3 \cdot 10^{23}$ kg (5,6 % av jordens)
- . Omloppstid 89 d, rotationstid 59 d
- . Nästan ingen atmosfär
- . Yttemperatur -190 – +430°C
- . Rymdsonder
 - . *Mariner 10* (1974 – 75)
 - . *MESSENGER* (2008 –15)
 - . *BepiColombo* (2018/2025)
- . Radarstudier från jorden
 - . Is i polarregionerna!



Merkurius fotograferat av
MESSENGER

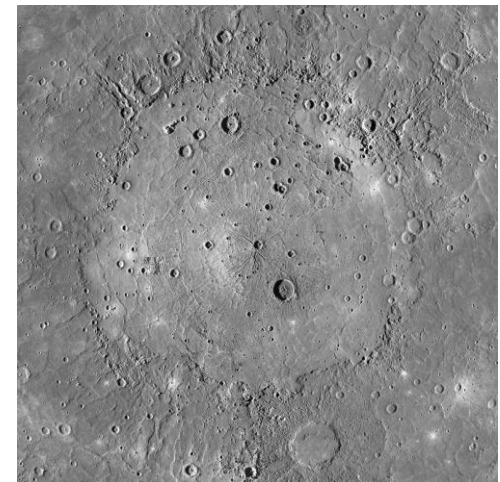
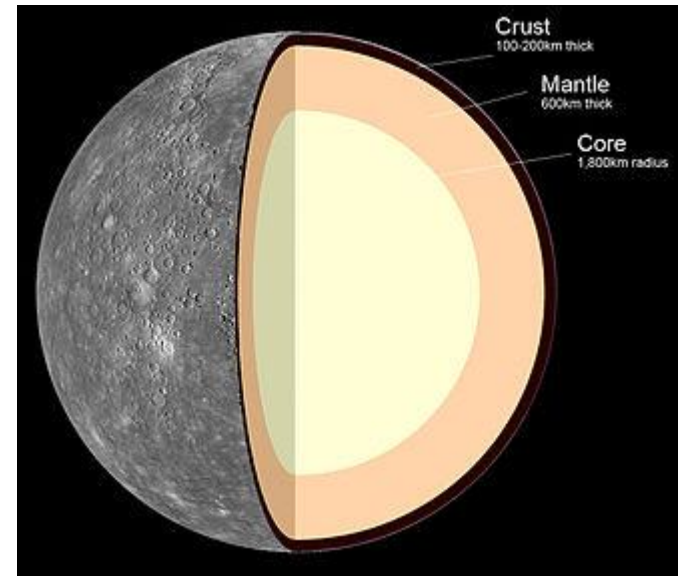


Merkurius "nordpol": Is i kratrar
(NASA).



4.7.1 Merkurius' struktur

- Inre struktur
 - Skorpa, 100 – 300 km
 - Mantel, ca 600 km
 - Kärna , ca 1800 km
- Ytan liknar månen
 - Ingen skyddande atmosfär -> Kratrar och "hav" från meteoritnedslag
 - Veckningar från att planeten har svalnat och krympt
- Proportionellt största kärnan av alla planeter
 - Upptar 42 % av volymen och 70 % av massan
 - Består mest av järn

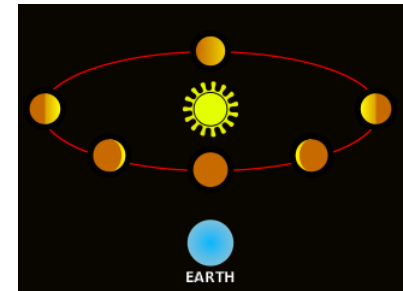
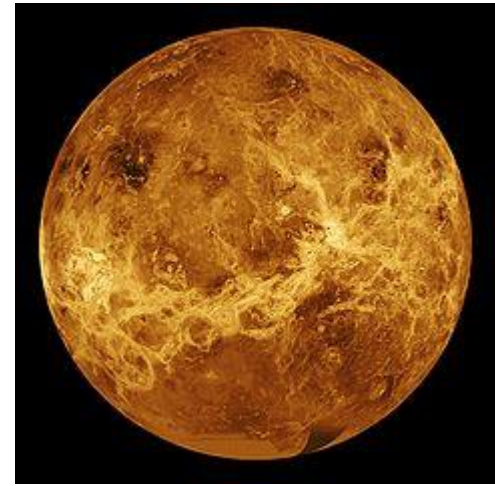
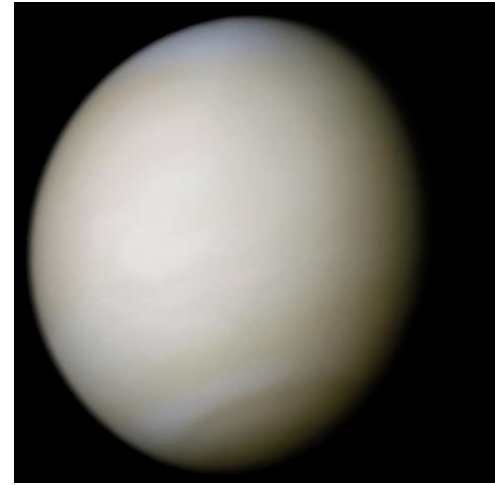


Caloris Planitia



4.8 Venus

- Avstånd från solen ~ 0,7 AU
 - 3:e ljusstarkaste objektet på himlen
- Diameter 12100 km (95 % av jordens), massa $4,9 \cdot 10^{24}$ kg (82 % av jordens)
- Omloppstid 224 dagar, rotationstid 243 dagar (retrograd, dvs. motsatt riktning)
- Rymdsonder
 - Flertal *Venera* och *Mariner* sonder (1960 – 80-talen)
 - Kartor av ytan med radar: *Pioneer Venus* 1980-talet, *Magellan* (1990-talet)
 - *Venus Express* (2006-14)
 - *Akatsuki* (2015-)
 - *BepiColombo* (2020/21)

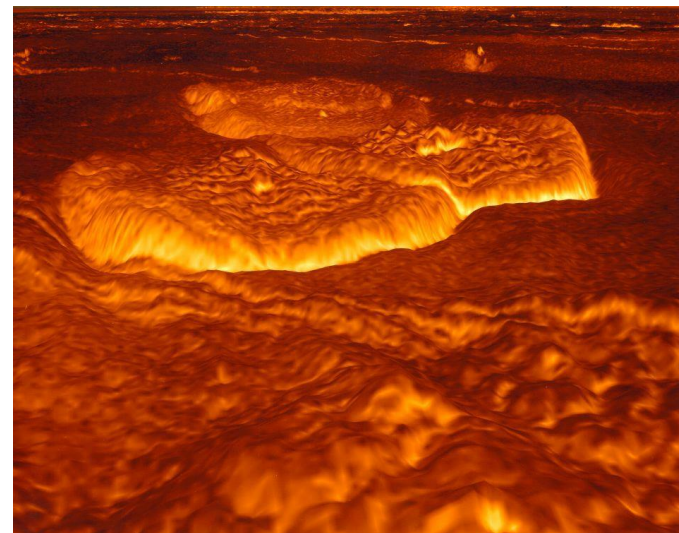


Bilder: NASA



4.8.1 Venus' struktur

- Kärna – mantel – skorpa, liksom jordens
- Mycket tjock atmosfär
 - Mest CO₂ => kraftig växthuseffekt
 - => yttemperatur 460°C
 - Lufttrycket ca 90 x jordens
 - Tjocka moln på ca 50 km höjd: Vatten + svavelsyra => regn av svavelsyra
 - Åskblixtar
 - Fosfin i atmosfären?
- Spår av kraftig vulkanisk aktivitet



Magellan, NASA

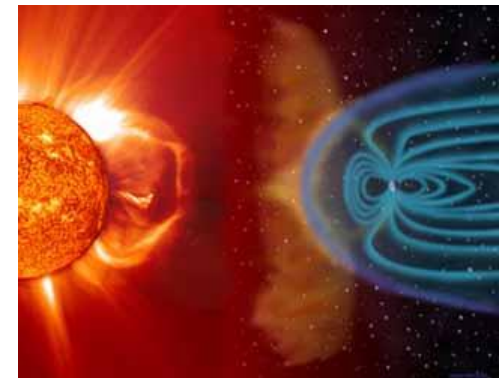


Venera 13, 1982



4.9 Jorden

- Nästan en dubbelplanet med månen
- Största stenplaneten
 - Diameter 12700 km, massa $6,0 \cdot 10^{24}$ kg
- Atmosfär: Kväve (79 %), syre (21 %) och små mängder andra gaser
- Ända kända platsen i universum med liv
 - Vatten i fast, flytande och gasform
- Kärna av metall (järn och nickel)
 - Innersta kärnan fast
 - Flytande yttre del => jordens magnetfält
- Kärnan omringad av 2900 km tjock mantel
- 10–60 km tjock skorpa





4.9.1 Jordens årstider

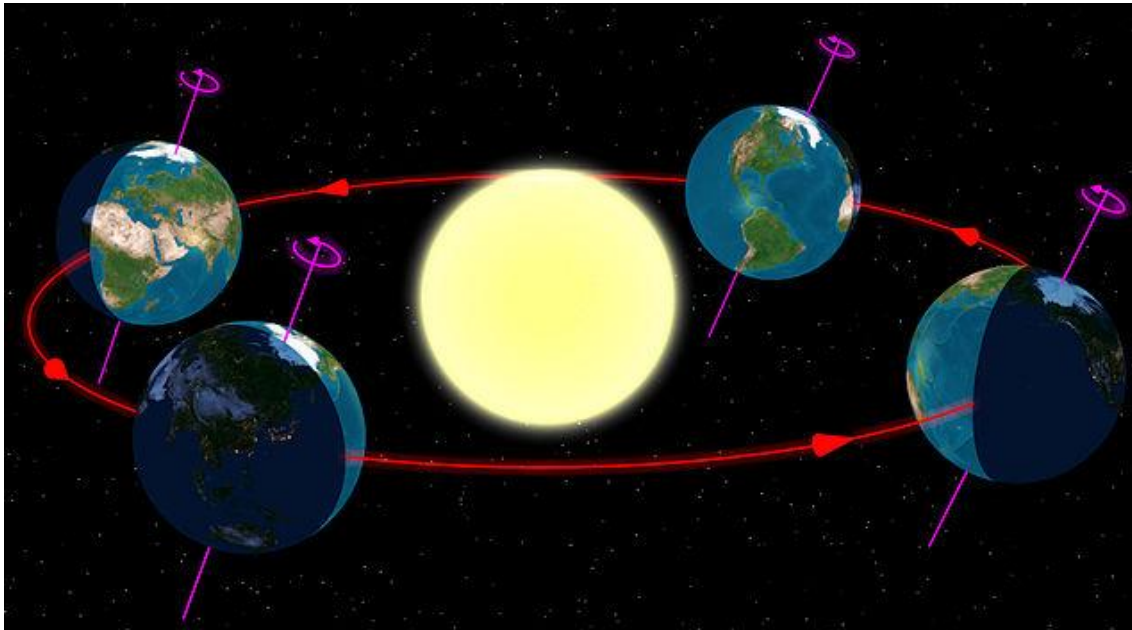


Bild:Wikipedia
(Tau'olunga)

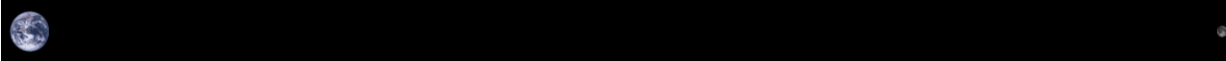
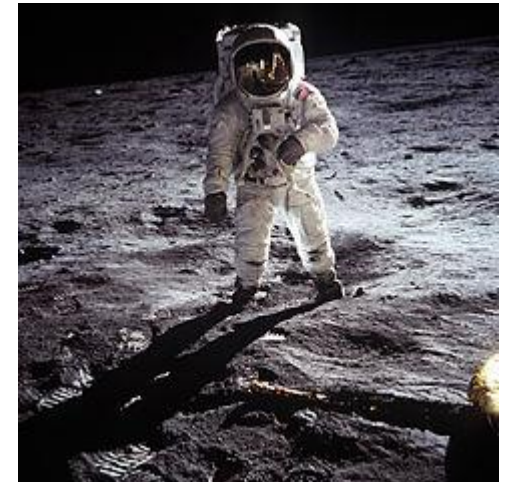
Rotationsaxelns lutning på 23° orsakar årstider:

- Sommarsolstånd (ca 20-21 juni)
- Höstdagjämning (ca 22-23 september)
- Vintersolstånd (ca 21-22 december)
- Vårdagjämning (ca 20-21 mars)



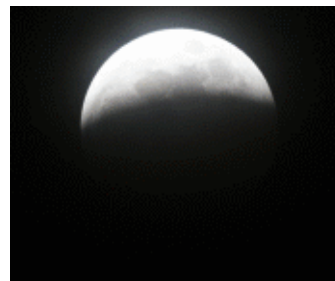
4.9.2 Månen

- Medelavstånd från jorden ca 380 000 km
- Diameter 3500 km, massa $7,3 \cdot 10^{22}$ kg, densiteten ungefär hälften av jordens
- Månens uppkomst: Kollisionsteorin (*Theia*)
- Bunden rotation => samma sida vänd mot jorden
- 4 st. bemannade sonder under åren 1969 – 72
- Obemannade sonder bl.a.
 - *Lunar Prospector* (1998-99)
 - *Chandrayaan-1* (2008-9)
 - *Lunar Reconnaissance Orbiter* (2009-)
 - *Chang'e 5* (2020)
 - *Smart lander* (2024)

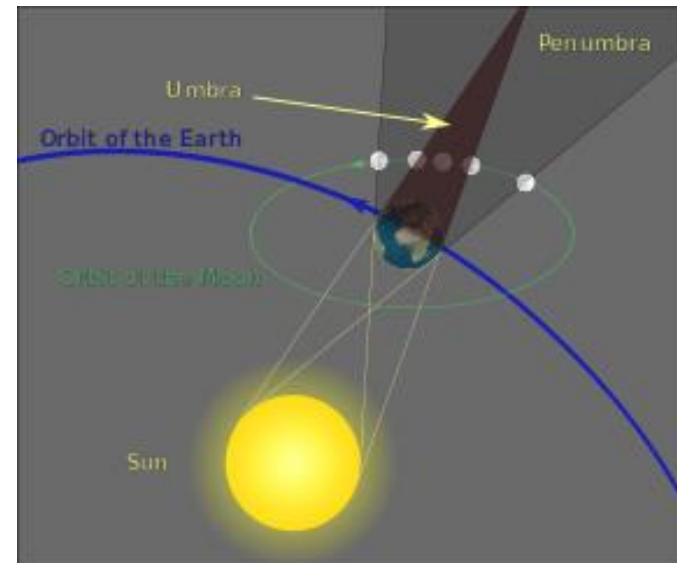
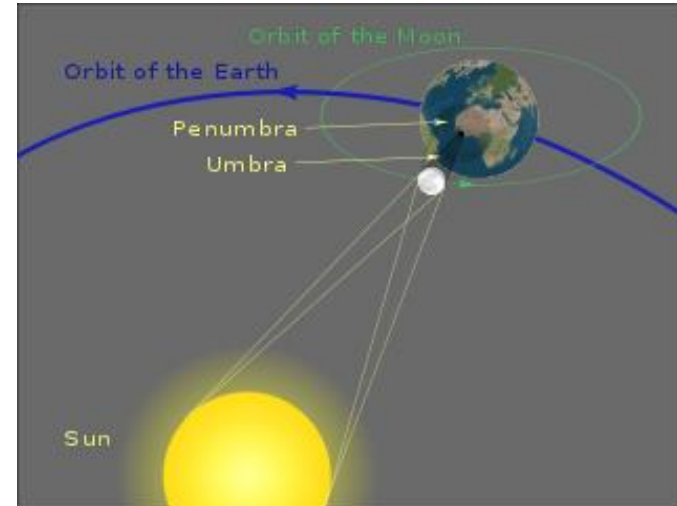


4.9.3 Sol- och månförmörkelse

- Solen och månen ser ungefär lika stora ut från jorden och rör sig i nästan samma plan
- => sol- och månförmörkelse
- Solförmörkelse: månen mellan jorden och solen
 - *Partiell, ringformad, total*
- Månförmörkelse: Jorden mellan solen och månen



Bilder: Luc Viatour, Thomas Knoblauch



4.10 Mars

- Avstånd från solen ca 1,5 AU
- Diameter 6800 km (53 % av jordens), massa $6,4 \cdot 10^{23}$ kg (11 % av jordens)
- Omloppstid 687 dagar, rotationstid 24,6 h
- Rotationsaxeln lutar $25^\circ \Rightarrow$ årstider
- Sonder mm.:
 - *Mariner* (1960 – 1970-talet), *Viking 1 & 2* (1970-talet), *Mars Global Surveyor* (1996 – 2006), *Pathfinder + Sojourner* (1997), *Spirit & Opportunity* (2004 – 2010/2013), *Phoenix* (2008), *Curiosity* (2012-), *MAVEN* (2014-2019), *Mars 2020*
- Månar:
 - *Phobos* 27 x 21 x 19 km
 - *Deimos* 15 x 12 x 11 km



Bilder: NASA





4.10.1 Mars' struktur

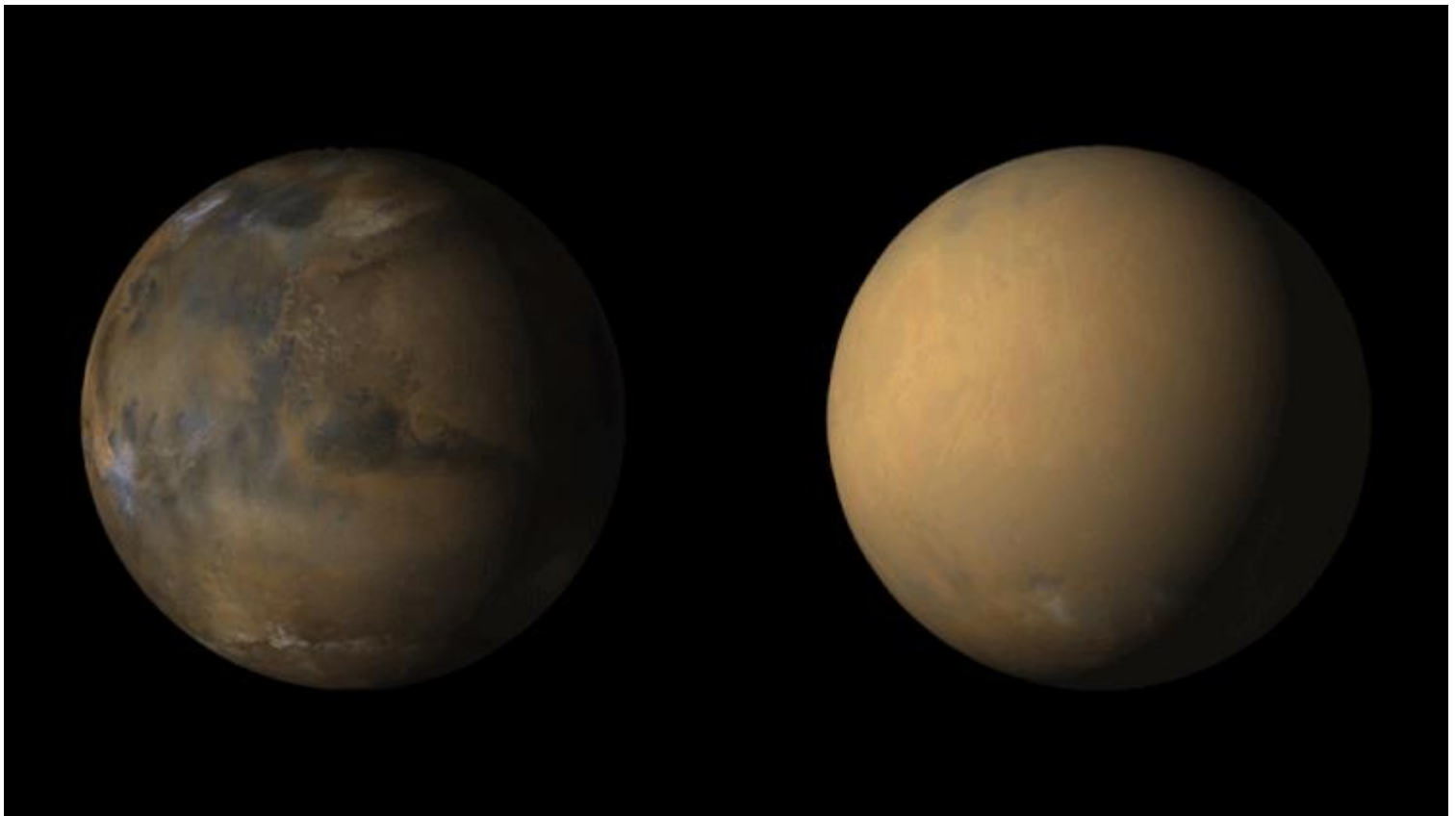
- Kärna – mantel – skorpa
- Mycket tunn atmosfär
 - Mest CO₂
 - Atmosfärtryck 1/200 av jordens
- Medeltemperatur -60°C (-140 – +30°C)
- Glaciärer vid polerna: CO₂ och H₂O
- Röda färgen från järnoxid ("rost")
- Spår av ytvatten från tidigare epoker
- Har påmint om jorden i ung ålder
 - => tidigare liv på Mars?



Bilder: NASA



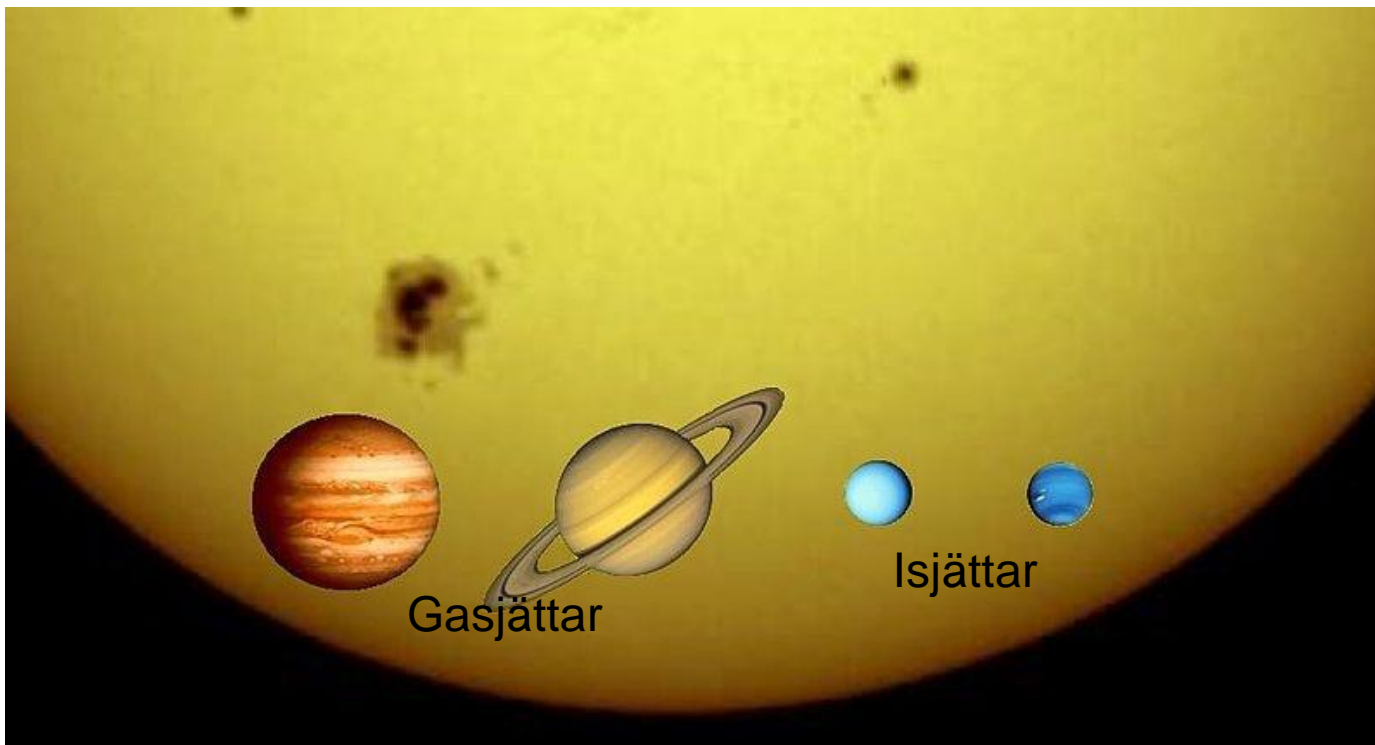
4.10.2 Mars' stormar



Mars före och efter stoftstorm (7/2018, NASA/JPL).



4.11 Jätteplaneterna

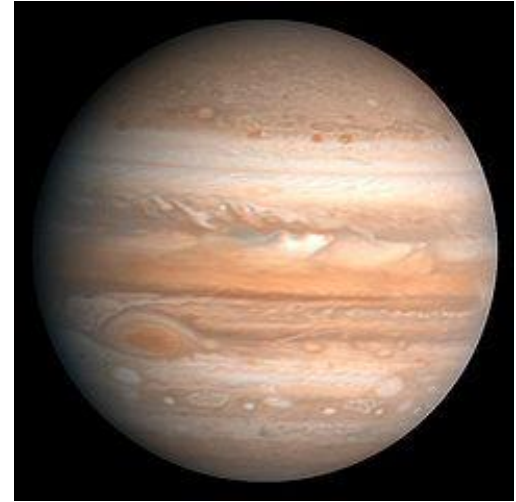


Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus med solen i samma skala (NASA).



4.12 Jupiter

- . Ekv. diameter 143000 km
- . Massa $1,9 \cdot 10^{27}$ kg
- . Omloppstid ca 12 år, rotationstid 10 h, medelavstånd från solen 5,2 AU
- . Densitet 1300 kg / m³
- . Temperatur ca -130°C
- . Sonder:
 - . *Pioneer 10 & 11* (1970-talet)
 - . *Voyager 1 & 2* (1979-80)
 - . *Galileo* (1995 – 2003)
 - . *Cassini* (passerade 2000)
 - . *New Horizons* (passerade 2007)
 - . *Juno* (2016-)
 - . *Jupiter Icy Moons Explorer* (2031)

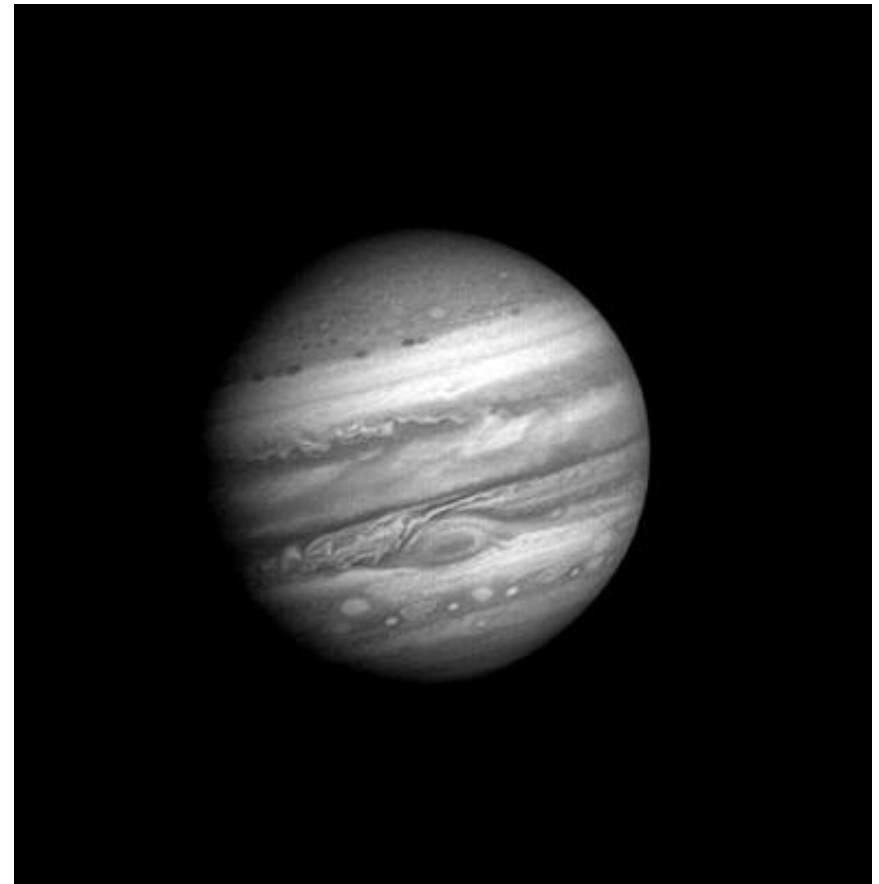


Bilder: NASA



4.12.1 Jupiters struktur

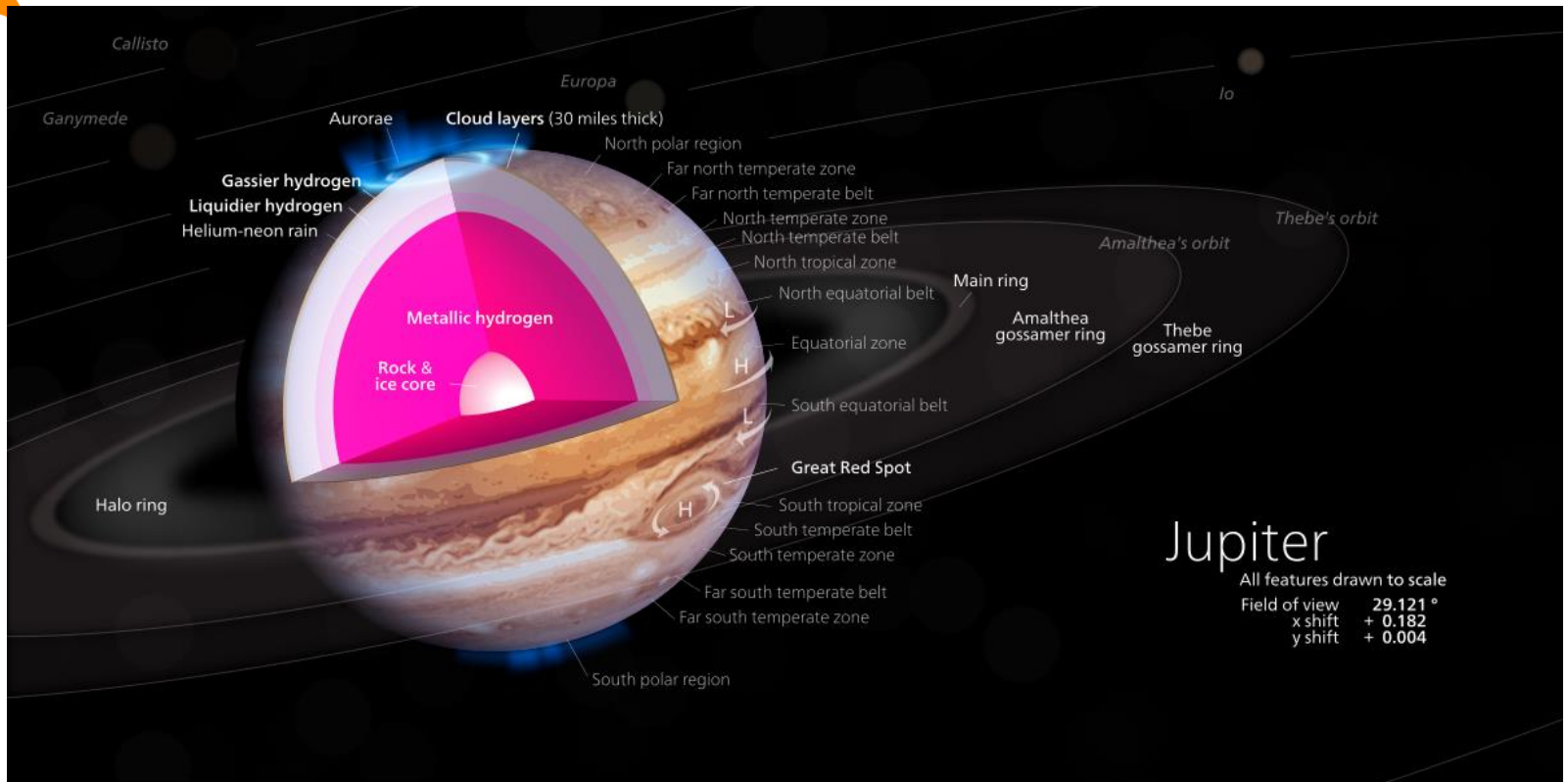
- Antagligen diffuserad stenkärna
- Resten gas, mest väte och helium (flytande och metalliskt)
- Ränderna:
Gasströmmar, vindar t.o.m. 600 km/h
- Röda fläcken: Storm som varat åtminstone 400 år



Voyager 1, 1 bild / 10 h

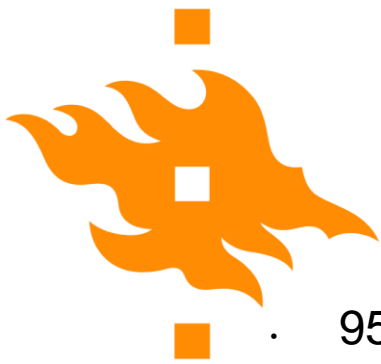


4.12.2 Jupiters magnetfält och ringar



- Starkt magnetfält + laddade partiklar => norrsken
- Voyager 1 detekterade ringar kring Jupiter
- Inre halo, huvudring och två yttre ringar
- Stoff från Jupiters månar

Bild: NASA



4.12.3 Jupiters månar

- 95 kända månar, största delen små
- 4 stora *galileiska* månar:
 - *Io*
 - Tidvattenkrafter: det vulkaniskt mest aktiva objektet i solsystemet
 - *Europa*
 - Täckt av ett jämnt lager is på ca 20 km
 - Sannolikt flytande vatten under isen => spekulationer om liv
 - *Ganymedes*
 - Varierande yta: sten, kratrar, is
 - Differentierad inre struktur med flytande sten-metallkärna => magnetfält
 - *Callisto*
 - Stenig yta helt täckt av relativt små kratrar
 - Tunt skal ovanför flytande hav





4.13 Saturnus

- Medelavstånd från solen 9,6 AU
- Omloppstid ca 29 år, rotationstid 10 h 34 min => tillplattad form
- Diameter 120 500 km
- Massa $5,7 \cdot 10^{26}$ kg => densitet $0,7 \text{ g / cm}^3$ (lägre än vattnets)
- Mest väte och helium, liknande inre struktur som Jupiter
- Sonder:
 - *Voyager 1 & 2* (1980–81)
 - *Cassini* (2004-17)

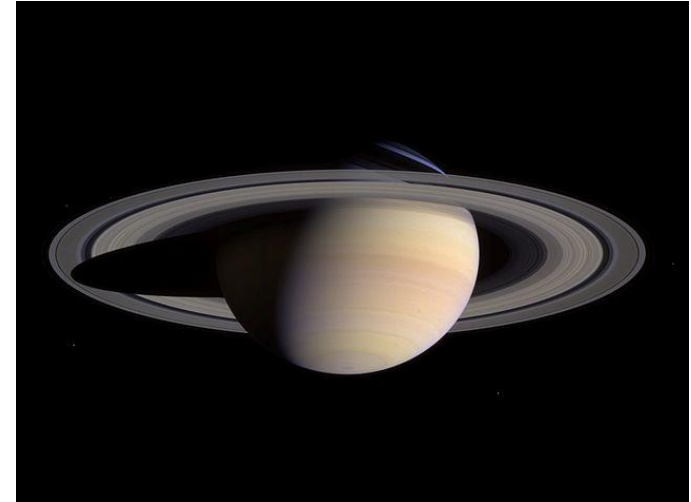
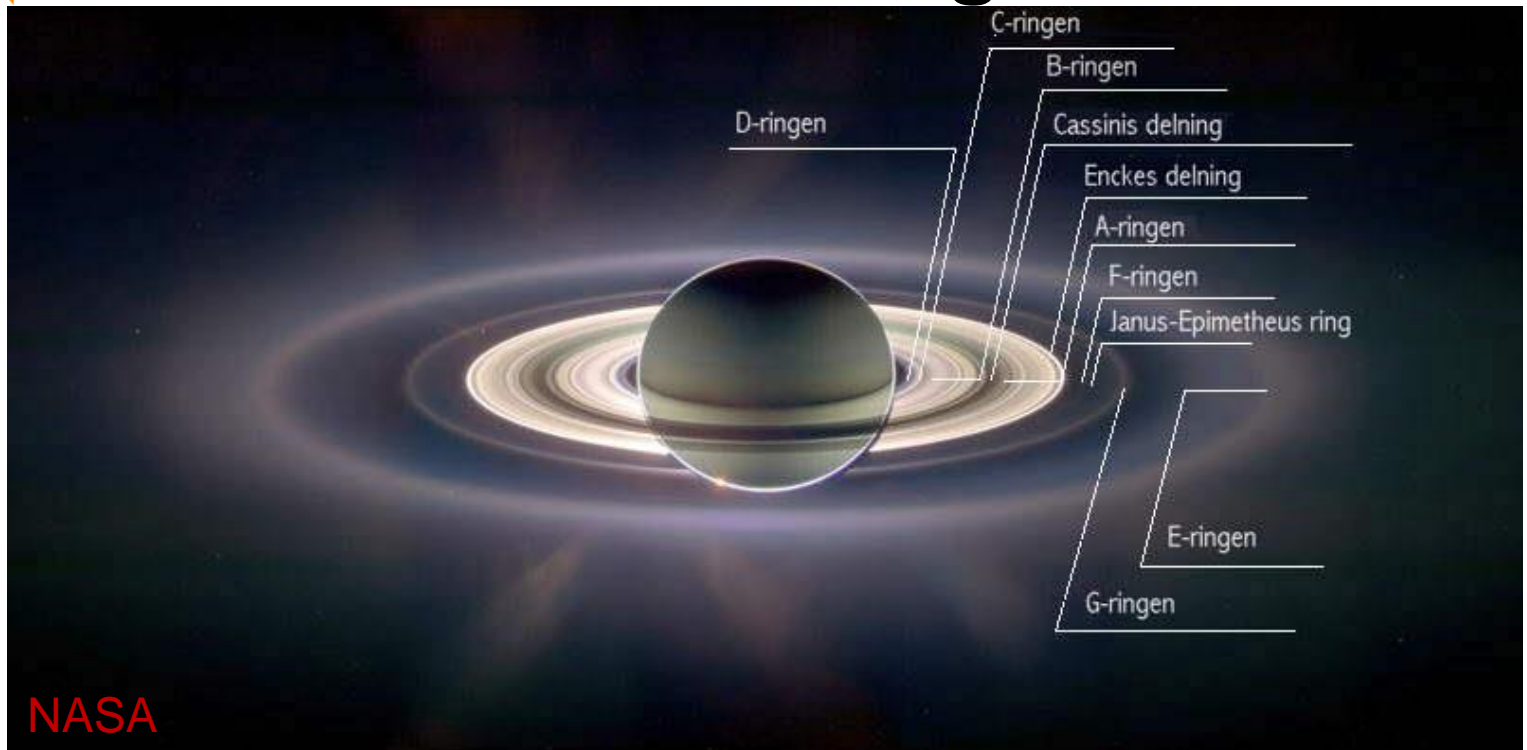


Bild: NASA



4.13.1 Saturnus' ringar

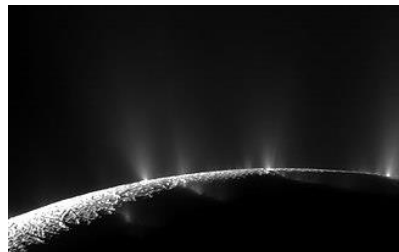
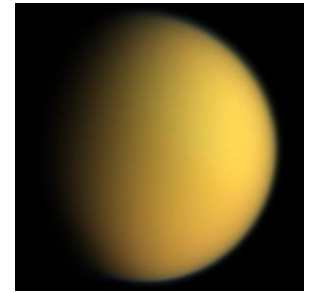


- Mest is, men även silikater, partiklarnas storlek från några cm till några m
- Separata ringar och delningar p.g.a. resonanser
- Bredd ca 70 000 km, tjockleken varierar från några meter till ca 3 km



4.13.2 Saturnus' månar

- . 146 bekräftade månar
 - . 131 av dem mindre än 50 km (diameter)
- . Största månen *Titan*
 - . Tjock atmosfär, främst kväve
 - . Täckt av homogent molnlager
 - . Metan cirkulerar: avdunstning, regn, sjöar...
- . 6:e största månen *Enceladus*:
Vattengejsrar

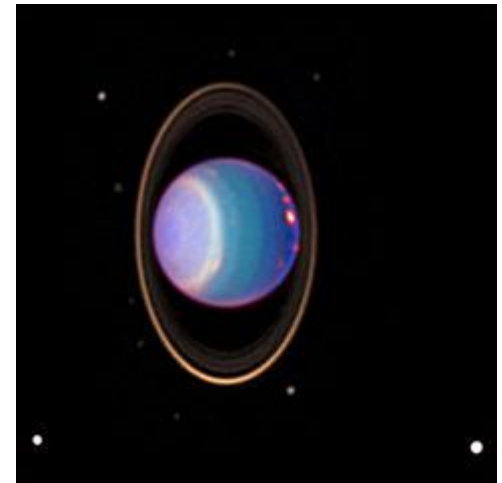


Bilder: NASA



4.14 Uranus

- Upptäcktes år 1781 av William Herschell
- Massa $8,7 \cdot 10^{25}$ kg, diameter 51 000 km
- Avstånd från solen ca 19,2 AU, omloppstid 84 år, rotationstid 17 h
- Rotationsaxeln lutar 98°
- Temperatur ca -210°C
- Ringarna upptäcktes 1977 genom *ockultation*
- 27 månar, består av sten + is
 - 5 större: *Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Oberon*
- Sonder
 - *Voyager 2* (1986)

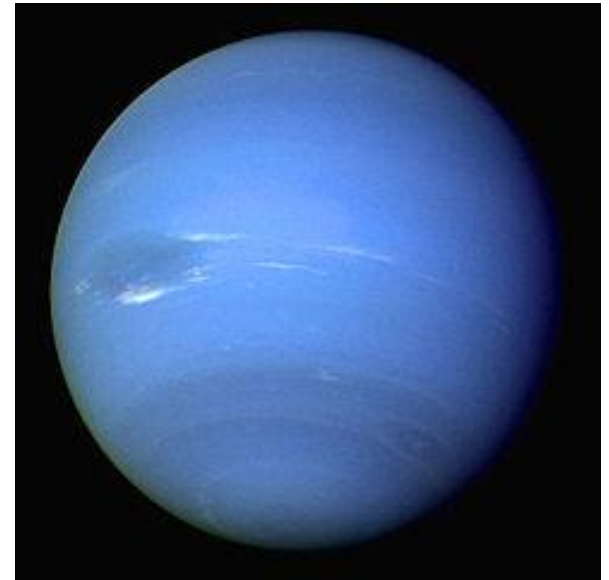


Bilder: NASA

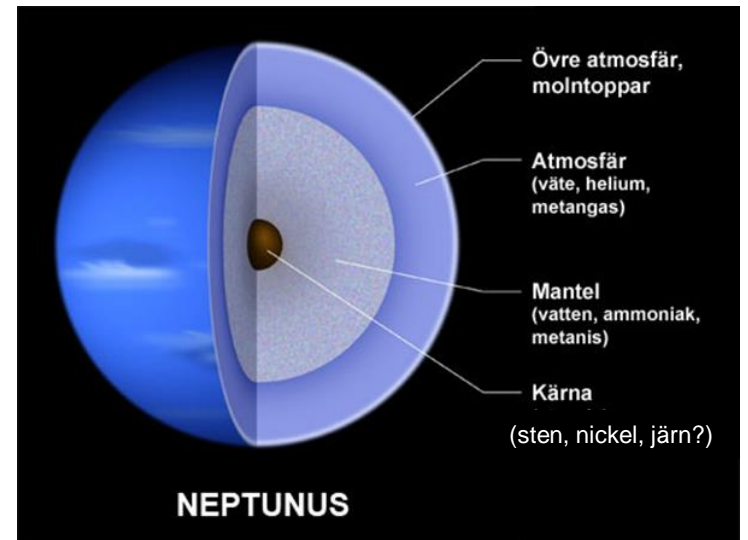


4.15 Neptunus

- Upptäcktes 1846 genom störningar i Uranus bana
- Medelavstånd från solen 30 AU
- Massa $1,0 \cdot 10^{26}$ kg, diameter 49500 km
- Temperatur ca -210°C
- Omloppstid ~ 165 år, rotationstid ~ 16 h
- Väder: vita metanmoln, mörk fläck, vindar upp till 2100 km/h
- Sonder:
 - *Voyager 2* (1989)



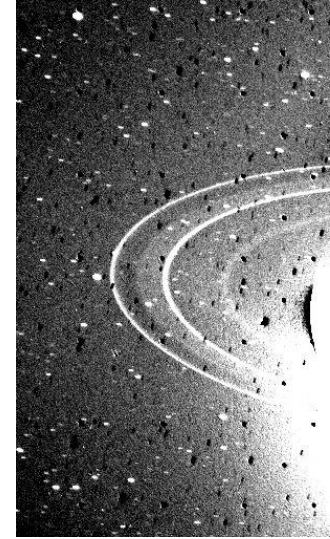
Bilder: NASA





4.15.1 Neptunus' ringar och månar

- Ringsystem: flera svaga ringar/bågar
- 14 bekräftade månar
- Största månen: *Triton*
 - Diameter 2700 km
 - Täckt med snö och is
 - Isvulkaner: eruptioner av gas och stoft

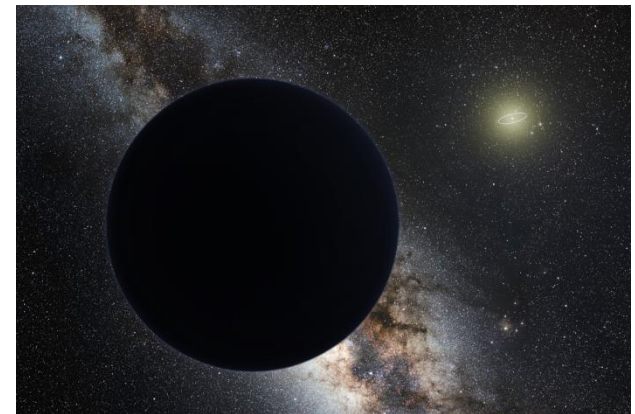
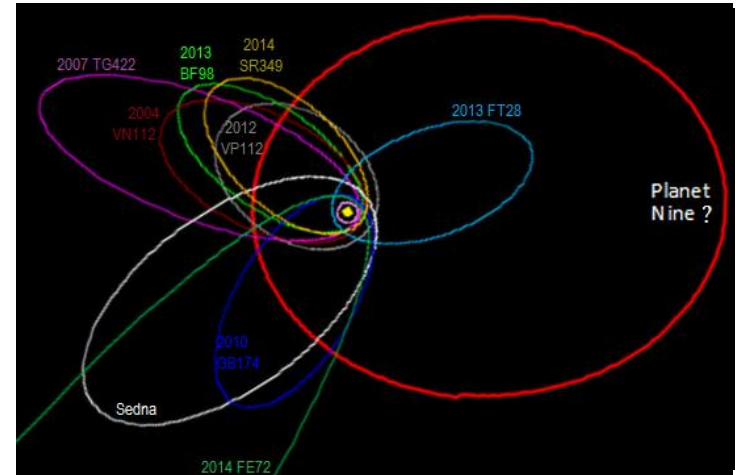


Bilder: Voyager 2 (NASA)



4.16 Planet 9?

- Hypotetisk planet
- Massa 5-10 x jordens
- Excentrisk bana
- Omloppstid ~ 15 000 år
- Närmaste avstånd från solen > 200AU



Konstnärs vision av 9:e planeten med Vintergatan som bakgrund (ESO)

Tom Ruen / ESO